



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : A61B 17/56, 19/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/21498</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 6. Mai 1999 (06.05.99)</p>		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/06828</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 28. Oktober 1998 (28.10.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 47 427.6 28. Oktober 1997 (28.10.97) DE</p> <p>(71) Anmelder (nur für AT BE CH CY DE DK ES FI FR GR IE IT LU MC NL PT SE): CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(71) Anmelder (nur für GB JP): CARL-ZEISS-STIFTUNG handelnd als CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MARMULLA, Rüdiger [DE/DE]; Brunnstrasse 7, D-93053 Regensburg (DE).</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p> </td> </tr> </table>			<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/06828</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 28. Oktober 1998 (28.10.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 47 427.6 28. Oktober 1997 (28.10.97) DE</p> <p>(71) Anmelder (nur für AT BE CH CY DE DK ES FI FR GR IE IT LU MC NL PT SE): CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(71) Anmelder (nur für GB JP): CARL-ZEISS-STIFTUNG handelnd als CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MARMULLA, Rüdiger [DE/DE]; Brunnstrasse 7, D-93053 Regensburg (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/06828</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 28. Oktober 1998 (28.10.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 47 427.6 28. Oktober 1997 (28.10.97) DE</p> <p>(71) Anmelder (nur für AT BE CH CY DE DK ES FI FR GR IE IT LU MC NL PT SE): CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(71) Anmelder (nur für GB JP): CARL-ZEISS-STIFTUNG handelnd als CARL ZEISS [DE/DE]; D-89518 Heidenheim (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MARMULLA, Rüdiger [DE/DE]; Brunnstrasse 7, D-93053 Regensburg (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>			
<p>(54) Title: BONE SEGMENT NAVIGATION SYSTEM</p> <p>(54) Bezeichnung: SYSTEM ZUR KNOCHENSEGMENTNAVIGATION</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a bone segment navigation system (1) comprising a planning unit (3) for the planning of bone segment displacement, a marker device (9) which is joined to the bone segment (5), a position detection unit (11) for said marker device (9) and a display and processing unit (13) connected to the position detection unit (11) and the planning unit (3) in order to indicate deviation in the actual position of the bone segment (5) in relation to a planned bone segment final position or a planned bone segment displacement path, whereby the marker device is connected in a clearly reproducible manner to the bone segment (5) by means of a template (19) allocated to the bone segment (5). Once the template (19) is applied and secured to the bone segment (5) it is possible to establish a correlation between the patient and the image or planning data set without any encroachment or detection in relation to the position of individual bone points.</p>				

(57) Zusammenfassung

Bei einem System (1) zur Knochensegmentnavigation mit einer Planungseinheit (3) zur Planung einer Knochensegmentverschiebung, einer mit einem Knochensegment (5) zu verbindenden Markeranordnung (9), einer die Position der Markeranordnung (9) erfassenden Positionserfassungseinheit (11) und einer Anzeige- und Verarbeitungseinheit (13), welche mit der Positionserfassungseinheit (11) und der Planungseinheit (3) verbunden ist, um die Abweichung der aktuellen Position des Knochensegments (5) von einer geplanten Knochensegmentendposition bzw. von einem geplanten Knochensegmentverschiebeweg anzuzeigen, ist die Markeranordnung (9) über eine dem Knochensegment (5) zugeordnete Schablone (19) mit dem Knochensegment (5) eindeutig reproduzierbar verbunden. Nach dem Aufsetzen und Befestigen der Schablone (19) am Knochensegment (5) ist eine Korrelation zwischen Patient und Bild- bzw. Planungsdatensatz ohne Antastung und positionsmäßige Erfassung einzelner Knochenpunkte möglich.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung:

System zur Knochensegmentnavigation

Die Erfindung betrifft ein System zur Knochensegmentnavigation nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Eine derartiges System ist aus der US 5,279,309 bekannt. Dabei wird die Position des Knochensegments mit Hilfe von Markern erfaßt, welche an in die Knochensegmentoberfläche eindringenden Nadeln in Abstand von der Knochensegmentoberfläche angeordnet sind.

Diese Anordnung der als Leuchtdioden (LED) ausgebildeten Marker läßt aber ihre exakte räumliche Beziehung zu dem Knochensegment bzw. dem z.B. durch eine Computer-Tomographie (CT) gewonnenen präoperativen Datensatz grundsätzlich offen. Dem kann dadurch begegnet werden, daß der präoperative Datensatz bereits mit den in das Knochensegment eingesteckten Nadeln erstellt wird, was allerdings einen den Patienten belastenden, der eigentlichen Knochensegmentverschiebung vorausgehenden chirurgischen Eingriff zum Setzen der Markernadeln und ein zusätzliches, sogenanntes Planungs-CT, auf dem die Markernadeln wiedergegeben werden, erforderlich macht.

Eine andere in der US 5,279,309 angesprochene Möglichkeit, die Marker in räumliche Beziehung zu dem Knochensegment zu setzen, besteht darin, sowohl die Marker als auch das Knochensegment mit der Spitze eines Tasters bzw. Pointers anzutasten, deren Position über die Positionserfassungseinheit gemessen werden kann. Wenn während der Operation dann mit der Pointerspitze sowohl am Knochensegment selbst als auch im präoperativen Datensatz eindeutig erkennbare Punkte, sogenannte charakteristische Punkte, angetastet und positionsmäßig erfaßt werden, kann die räumliche Beziehung der Marker zu dem Knochensegment festgestellt werden. Dabei müssen die

charakteristischen Punkte aber während der Operation in zeitraubender Weise angetastet und positionsmäßig erfaßt werden. Ferner setzt dies voraus, daß es derartige charakteristische Punkte gibt.

Bei vielen Knochensegmenten ist dies allerdings nicht der Fall, wodurch die in der US 5,279,309 erwähnte Positionsbestimmung des Knochensegments selbst nicht mit der für einige Anwendungsfälle erforderlichen Genauigkeit möglich ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein System zur Knochensegmentnavigation bereitzustellen, mit welchem die Position beliebiger Knochensegmente zuverlässig, genau und schnell erfaßt werden kann, ohne während der Operation Knochenpunkte einzeln mit einem Pointer antasten und positionsmäßig erfassen zu müssen.

Diese Aufgabe wird durch ein System zur Knochensegmentnavigation nach Anspruch 1 gelöst.

Denn durch die Verbindung der Markeranordnung mit dem Knochensegment über eine dem Knochensegment individuell zugeordnete Schablone ist man nicht mehr auf einzelne charakteristische Punkte angewiesen, sondern kann die gesamte Oberfläche des Knochensegments zur eindeutigen Zuordnung der Lage der Markeranordnung zum Knochensegment verwenden. Dabei ist nach dem Aufsetzen und Befestigen der Schablone am Knochensegment eine Korrelation zwischen Patient und Bild- bzw. Planungsdatensatz ohne Antastung und positionsmäßige Erfassung einzelner Knochenpunkte möglich.

Die Unteransprüche betreffen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen dieser Erfindung.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems zur Knochensegmentnavigation,

Figur 2 eine schematische Darstellung der Schablone von Figur 1 im Detail und die

Figuren 3a-3f eine schematische Darstellung des Ablaufs einer Knochensegmentnavigation mit einem erfindungsgemäßen System.

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßes System 1 zur Knochensegmentnavigation dargestellt. Das System 1 umfaßt eine vorzugsweise einen Bildschirm aufweisende Planungseinheit 3, welche die Planung einer Knochensegmentverschiebung anhand eines z.B. durch CT erstellten präoperativen Datensatzes ermöglicht.

Es soll ein Knochensegment 5 eines Patienten 7 relativ zum Rest des Patienten 7, spezieller zu dessen Gesichtsschädel, in vorausgeplanter Weise verschoben werden.

An dem zu verschiebenden Knochensegment 5 ist mittels einer Schablone 19 eine Markieranordnung 9 angebracht, deren Position von einer Positionserfassungseinheit 11 gemessen werden kann. Die einzelnen Marker der Markieranordnung 9 sind Infrarot-Leuchtdioden, deren Positionen von der drei infrarotempfindliche Kameras umfassenden Positionserfassungseinheit 11 erfaßt werden können. Die einzelnen Marker könnten aber auch passive Reflektoren oder Ultraschallsender sein.

Die erfaßten Markerpositionen werden über eine Signalleitung 15 in eine Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 eingegeben, welche über eine weitere Signalleitung 17 ferner mit der Planungseinheit 3 verbunden ist. Dadurch werden der Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 auch der geplante Verschiebeweg bzw. die geplante Endposition bzw. Endorientierung des Knochensegments 5 übergeben.

Die Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 berechnet die Abweichung der aktuellen Position des Knochensegments 5 von seiner geplanten Endposition, und zeigt diese Abweichung dem Chirurgen grafisch und/oder koordinatenmäßig an.

Die Oberfläche des zu navigierenden, d.h. definiert zu verschiebenden, Knochensegments kann von der Planungseinheit 3 und/oder der Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 als polygonale oder abstrahierte trianguläre Struktur wiedergegeben werden, die intraoperativ mit einer kongruenten Figur in der End- bzw. Zielposition in Deckung zu bringen ist.

An das System kann auch ein computergesteuerter mechanischer Arm eines Roboters angesetzt werden, der das Knochensegment anhand der Ausgangs- und Zielkoordinaten selbständig in die gewünschte Position führt und dort fixiert hält.

Figur 2 zeigt die Schablone 19, welche dem durch eine gestrichelte Randlinie angedeuteten Knochensegment 5 spezifisch zugeordnet ist und mit dem Knochensegment 5 über in Figur 2 nicht dargestellte Osteosyntheseschrauben oder Drahtligaturen verbunden ist. Die Schablone 19 weist einen Paßflächenteil 23 mit einer an die jeweiligen konvexen und konkaven Oberflächenbereiche des Knochensegments 5 sich anschmiegenden Paßfläche 21 auf, welche eine eindeutige Zuordnung der Markeranordnung 9 zu dem Knochensegment 5 gewährleistet. Dabei ist zu beachten, daß die Paßfläche 21 auf der in Figur 2 nicht zu sehenden Rückseite des Paßflächenteils 23 angeordnet ist.

Mit der Schablone als Negativform und der Knochenoberfläche als Positivform ist die eindeutig reproduzierbare Zuordnung zwischen Knochensegment und den an der Schablone angeordneten Markern also durch ein Schlüssel-Schloß-Prinzip gewährleistet.

Da die Schablone 19 bereits anhand des präoperativen Datensatzes herstellbar ist, ist ein der eigentlichen Knochensegmentoperation vorausgehender chirurgischer Eingriff zum Setzen von Markern, welche dann im präoperativen Datensatz

erscheinen, überflüssig. Die Erstellung eines 3D-Modells zur Fertigung der Schablone beschränkt sich dabei - kostenreduzierend - auf die Oberfläche des zu navigierenden Knochensegments.

Die Markeranordnung 9 umfaßt Infrarot-Leuchtdioden 25, 27, 29, welche an den äußeren Enden einer dreispeichigen Trägerstruktur 31 angebracht sind. Die Trägerstruktur 31 ist mit dem Paßflächenteil 23 der Schablone 19 über einen länglichen Griffteil 33 lösbar verbunden. Dazu ist der Griffteil 33 über eine eindeutig reproduzierbare Steckverbindung mit dem Paßflächenteil 23 verbunden. Die Verbindung besteht aus drei Pins 35, welche eine Patritze bilden und mit einer entsprechenden, in das Paßflächenteil 23 einpolymerisierbaren Matritze zusammenwirken.

Mit 37, 39 und 41 sind Fenster in dem Paßflächenteil 23 bezeichnet, über die eine Pointerspitze die Oberfläche des Knochensegments 5 direkt berühren könnte, um ausgewählte Bereiche der Oberfläche des Knochensegments 5 unmittelbar bezüglich der Position zu vermessen. Da der Einsatz eines Pointers während der Operation aber zeitraubend ist, sind die Fenster 37, 39 und 41 vor allem im Hinblick auf die Operationsplanung an einem Modell-Knochensegment von Vorteil.

Mit dem erfindungsgemäßen System kann eine Knochensegment-navigation wie folgt ablaufen:

1. Bestimmung der Anfangs- bzw. Ist-Position von Knochenreferenzpunkten anhand eines präoperativen dreidimensionalen Datensatzes mit der Planungseinheit. Die Knochenreferenzpunkte müssen dank der Erfindung keine charakteristischen Punkte sein, da sie über die spezifische Schablonenpaßfläche eindeutig bestimmbar sind.
2. Bestimmung der End- bzw. Sollposition der Knochenreferenzpunkte mit der Planungseinheit.

3. Anfertigen der Schablone anhand des präoperativen dreidimensionalen Datensatzes.
4. Bestimmen der Markerpositionen auf der individuellen Schablone relativ zu den Knochenreferenzpunkten.
5. Berechnung der geplanten Endpositionen der Markeranordnung anhand der Ist- und Soll-Positionen der Knochenreferenzpunkte.
6. Zu Beginn der eigentlichen Operation Aufsetzen der Schablone auf das Knochensegment des Patienten und Befestigen der Schablone mit Osteosyntheseschrauben oder Drahtligaturen.
7. Bestimmen der Markerpositionen am Patienten vor Osteotomie.
8. Berechnung der Ist-Positionen der Knochenreferenzpunkte am Patienten.
9. Berechnung der Soll-Positionen der Markeranordnung anhand der präoperativen Planung.
10. Berechnung der Soll-Positionen der Knochenreferenzpunkte am Patienten anhand der präoperativen Planung.
11. Erfassen der Bewegung bzw. der Positionen der Markeranordnung mit der Positionserfassungseinheit.
12. Bestimmen der aktuellen Position der Knochenreferenzpunkte.
13. Berechnung des Abstands zwischen aktueller Position, Ist- und Soll-Position der Markeranordnung.
14. Berechnung des Abstands zwischen aktueller Position, Ist- und Soll-Position der Knochenreferenzpunkte.

Es ist zu beachten, daß die Schritte 1 bis 5 vor dem eigentlichen chirurgischen Eingriff am Patienten im Labor erfolgen und daß während des chirurgischen Eingriffs am Patienten keine einzelnen Knochenpunkte mit einem Pointer abgetastet und positionsmäßig erfaßt werden müssen.

In den Figuren 3a bis 3f ist der Ablauf einer Knochensegment-navigation mit dem erfindungsgemäßen System schematisch dargestellt, wobei sich die Figuren 3a bis 3c auf die Operationsplanung und die Figuren 3d bis 3f auf die eigentliche Operation beziehen.

In Figur 3a ist ein stereolithographisch erstelltes dreidimensionales Modell 43 einer chirurgisch zu behandelnden Knochenstruktur, z.B. eines Schädels, sehr schematisiert dargestellt. Die Modell-Knochenstruktur 43 weist einen Bereich 45 auf, der als Modell-Knochensegment dem zu navigierenden Knochensegment des Schädels entspricht.

Bei der Operationsplanung wird der chirurgische Eingriff durch geeignetes Verschieben des Modell-Knochensegments 45 relativ zur Modell-Knochenstruktur 43 durchgespielt, wobei die dabei gewonnenen Daten in die Planungseinheit 3 eingegeben werden.

An das Modell-Knochensegment 45 schmiegt sich eine anhand präoperativer Diagnosedaten, z.B. CT-Aufnahmen, erstellte Schablone 47 mit ihrer Paßfläche exakt und lagemäßig reproduzierbar an. An dieser Schablone 47 ist eine der Markeranordnung 9 von Figur 2 entsprechende Markeranordnung 49 orts- und lagefest angeordnet. Ferner ist eine weitere Markeranordnung 51 mit der Modell-Knochenstruktur 43 starr verbunden, wodurch auf eine Fixierung der Modell-Knochenstruktur 43 relativ zur Positionserfassungseinheit 11 während der in den Figuren 3a bis 3c symbolisch dargestellten Operationsplanung verzichtet werden kann.

Figur 3a entspricht der Ausgangs- bzw. Ist-Position des Knochensegments vor seiner Verschiebung. Diese Ausgangsposition wird mit der in Figur 1 dargestellten Positionserfassungseinheit 11 durch Messen von Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 relativ zur Markeranordnung 51 erfaßt und in die Planungseinheit 3 eingegeben.

Dann wird am Modell eine das Knochensegment von der Knochenstruktur trennende Osteotomie simuliert bzw. durchgeführt, wodurch das Modell-Knochensegment 45 von der Modell-Knochenstruktur 43 getrennt wird. Anschließend wird das Modell-Knochensegment 45 dann in die gewünschte End- bzw. Soll-Position gebracht und beispielsweise mit Osteosyntheseplatten 53 in der in Figur 3b dargestellten Endposition fixiert. Dabei erfaßt die Positionserfassungseinheit 11 Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 relativ zur Markeranordnung 51 in der Endposition und ggf. zusätzlich in Zwischenpositionen auf dem geplanten Weg zwischen Anfangs- und Endposition.

Aus der Anfangsposition der Markeranordnung 49 und der Endposition der Markeranordnung 49 berechnet die Planungseinheit 3 die in Figur 3c dargestellten Vektoren 55, 57 und 59, welche dann beim eigentlichen chirurgischen Eingriff ausgehend von der Anfangsposition des Knochensegments die Bestimmung der geplanten Endposition des Knochensegments ermöglichen.

Figur 3c zeigt das Modell-Knochensegment 45 und die Markeranordnung 49 in überlagerter Darstellung sowohl in ihrer Anfangs- als auch in ihrer Endposition.

In den Figuren 3d bis 3f ist die am Patienten durchgeführte eigentliche Operation symbolisch dargestellt.

Dabei sind in Figur 3d die der Modell-Knochenstruktur 43 zugrundeliegende Knochenstruktur 63 und das dem Modell-Knochensegment 45 zugrundeliegende Knochensegment 61 zu erkennen.

In einem ersten, in Figur 3d dargestellten Operationsabschnitt wird die Schablone 47 zusammen mit der Markeranordnung 49 dank ihrer Paßfläche in eindeutiger Lage- und Orientierungsbeziehung an dem Knochensegment 61 angeordnet. An der Knochenstruktur 63 ist ferner in starrer Weise eine Markeranordnung 65 befestigt, wobei nicht darauf geachtet werden muß, daß Markeranordnung 65 und Knochenstruktur 63 die Lage- und Orientierungsbeziehung von Markeranordnung 51 und Modell-Knochenstruktur 43 (Figur 3a bis 3c) reproduzieren.

Über die Positionserfassungseinheit 11 wird dann die Position der Markeranordnung 49 (relativ zur Markeranordnung 65) erfaßt. Da die bei der Operationsplanung verwendete Einheit aus Schablone 47 und Markeranordnung 49 unverändert bei der Operation verwendet wird, kann die Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 daraus die Anfangsposition des Knochensegments 61 berechnen und als Konturlinienzug 67 darstellen.

In einem nächsten, in Figur 3e dargestellten Operationsschritt berechnet die Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 mittels der Vektoren 55, 57 und 59 und der zuvor in der Anfangsposition des Knochensegments 61 erfaßten Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 die vorausgeplante Endposition des Knochensegments 61 und stellt sie als Konturlinienzug 69 dar.

Danach wird mit dem Osteotomie, Knochensegmentverschiebung und Osteosynthese umfassenden chirurgischen Eingriff fortgefahren, wobei die jeweilige Lage des Knochensegments 61 mit Hilfe der Markeranordnungen 49 und 65 und der Positionserfassungseinheit 11 laufend erfaßt und durch die Anzeige- und Verarbeitungseinheit 13 aufeinanderfolgend dargestellt wird.

In Figur 3f ist neben Anfangs- und Endposition des Knochensegments 61 eine Zwischenposition des Knochensegments 61 dargestellt. Diese Zwischenposition ist als Konturlinienzug 71

zusammen mit der Anfangspositionsdarstellung 67 und der Endpositionsdarstellung 69 zu erkennen.

Dank der Markeranordnung 65 muß der Patient während der Operation nicht relativ zur Positionserfassungseinheit 11 absolut starr und unbeweglich fixiert werden. Es kann bei einer Fixierung des Patienten bzw. der Knochenstruktur 63 auf die Markeranordnung 65 aber auch verzichtet werden.

Bei der Operationsplanung nach den Figuren 3a bis 3c dient das dreidimensionale Modell von Knochenstruktur und Knochensegment nicht nur zur physischen Simulation der eigentlichen Operation, sondern auch dazu, daß Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 relativ zur Schablone 47 nicht gesondert erfaßt werden müssen. Es ist damit weitgehend egal, in welcher Orientierung die Markeranordnung 49 an der Schablone 47 angebracht wird - es kommt nur darauf an, daß die selbe, unveränderte Einheit aus Markeranordnung 49 und Schablone 47 sowohl bei der Operationsplanung als auch bei der Operation eingesetzt wird. Dadurch können sich auch die unvermeidbaren Ungenauigkeiten bei der Verbindung der Markeranordnung 49 mit der Schablone 47 nicht nachteilig auf die Genauigkeit der Knochensegmentnavigation auswirken.

Wenn aber Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 relativ zur Schablone 47 z.B. durch Abtasten der Paßfläche der Schablone 47 mit einem Pointer hinreichend genau erfaßbar sind, kann auf das dreidimensionale Modell von Knochenstruktur und Knochensegment verzichtet werden und die Operation virtuell an der Planungseinheit 3 vorausgeplant werden.

Dabei wird die Schablone 47 individuell als Negativform direkt aus dem Patientendatensatz angefertigt und dann mit der Markeranordnung 49 verbunden. Danach werden Lage und Orientierung der Markeranordnung 49 relativ zur Paßfläche der Schablone 47 bestimmt und in den Patientendatensatz eingegeben bzw. einprojiziert. Worauf dann die Knochensegmentverschiebung mit der damit einhergehenden Lageänderung der Marker an der

Planungseinheit 3 virtuell simuliert werden kann. -

Patentansprüche:

1. System (1) zur Knochensegmentnavigation mit
 - einer Planungseinheit (3) zur Planung einer Knochensegmentverschiebung,
 - einer mit einem Knochensegment (5) zu verbindenden Markeranordnung (9),
 - einer die Position der Markeranordnung (9) erfassenden Positionserfassungseinheit (11),
 - einer Anzeige- und Verarbeitungseinheit (13), welche mit der Positionserfassungseinheit (11) und der Planungseinheit (3) verbunden ist, um die Abweichung der aktuellen Position des Knochensegments (5) von einer geplanten Knochensegmentendposition bzw. von einem geplanten Knochensegmentverschiebeweg anzuzeigen, dadurch gekennzeichnet, daß die Markeranordnung (9) über eine dem Knochensegment (5) zugeordnete Schablone (19) mit dem Knochensegment (5) verbunden ist.
2. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach Anspruch 1, wobei sich die Schablone (19) mit einer Paßfläche (21) flächig und eindeutig reproduzierbar an das Knochensegment (5) anschmiegt.
3. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Markeranordnung (9) lösbar an der Schablone (19) angebracht ist.
4. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Schablone (19) über Osteosyntheseschrauben fest mit dem Knochensegment (5) verbindbar ist.
5. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Schablone (19) einen länglichen Griffteil (33) aufweist, an dessem einen Ende

die Paßfläche (21) und an dessem anderen Ende die Markeranordnung (9) angeordnet ist.

6. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach Anspruch 5, wobei die Markeranordnung (9) zumindest drei Marker (25, 27, 29) umfaßt, welche an einer sich quer zum länglichen Schablonengriffteil (33) erstreckenden Trägerstruktur (31) angeordnet sind.
7. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Markeranordnung (9) zumindest drei Marker (25, 27, 29) umfaßt, welche unmittelbar an der Schablone (19) angebracht sind.
8. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Marker Infrarotsender (25, 27, 29) sind.
9. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Paßfläche (21) der Schablone (19) Fenster (37, 39, 41) aufweist, um die Position von Punkten der Knochensegmentoberfläche auch unmittelbar mit Hilfe eines Tasters erfassen zu können.
10. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Anzeige- und Verarbeitungseinheit (13) die Abweichung der aktuellen Position der Markeranordnung (9) von einer geplanten Endposition der Markeranordnung (9) koordinatenmäßig anzeigt.
11. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Anzeige- und Verarbeitungseinheit (13) die Abweichung der aktuellen Position der Markeranordnung (9) von einer geplanten Endposition der Markeranordnung (9) als abstrahierte trianguläre oder polygonale Oberflächenstrukturen, die mit

kongruenten Figuren in der Zielposition in Deckung zu bringen sind, anzeigt.

12. System (1) zur Knochensegmentnavigation nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei ein von der Anzeige- und Verarbeitungseinheit (13) gesteuerter Arm eines Roboters das Knochensegment (5) verschiebt.

1 / 3

FIG. 1

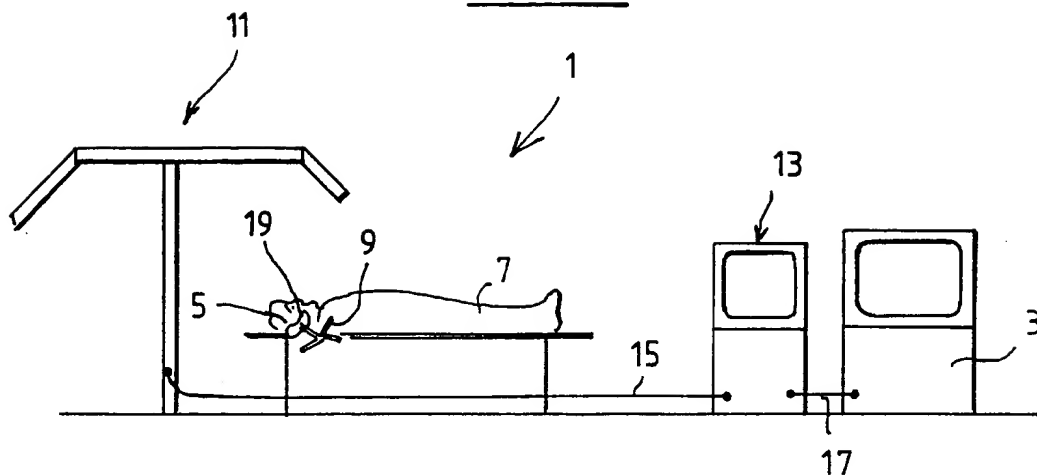
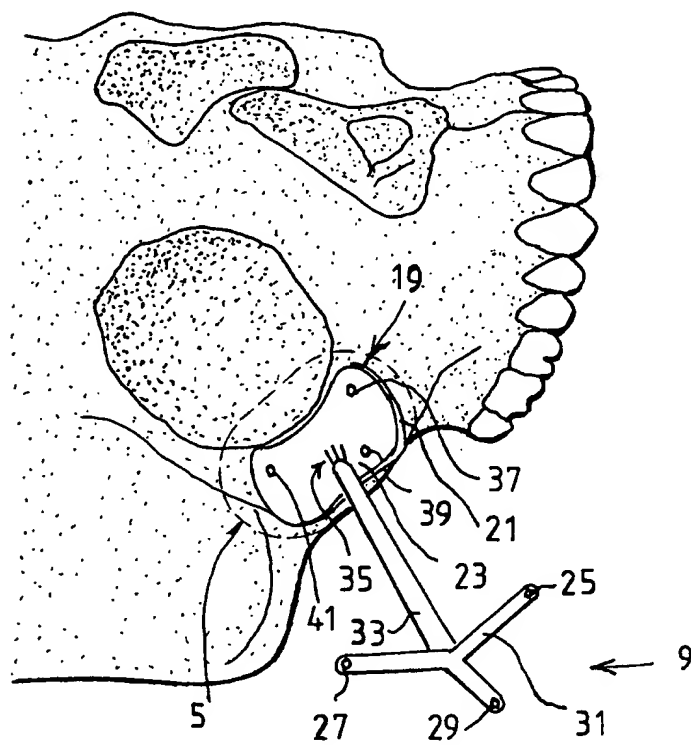


FIG. 2



2 / 3

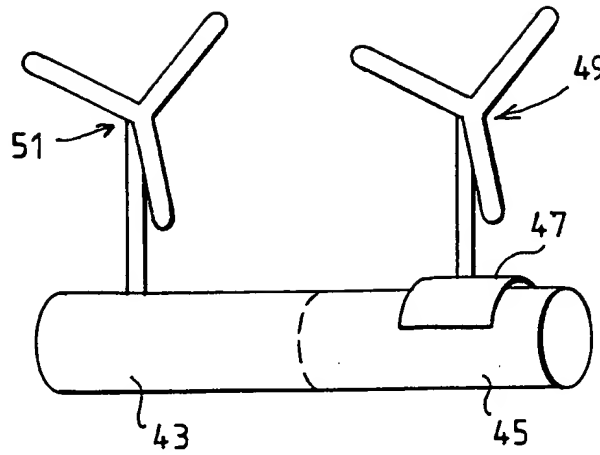


FIG. 3a

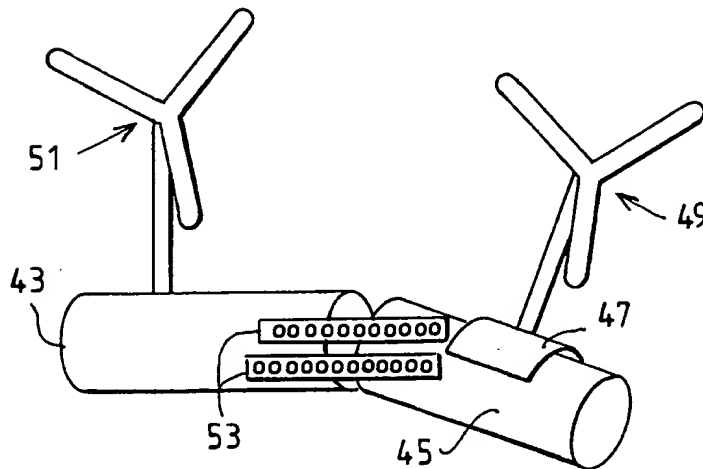


FIG. 3b

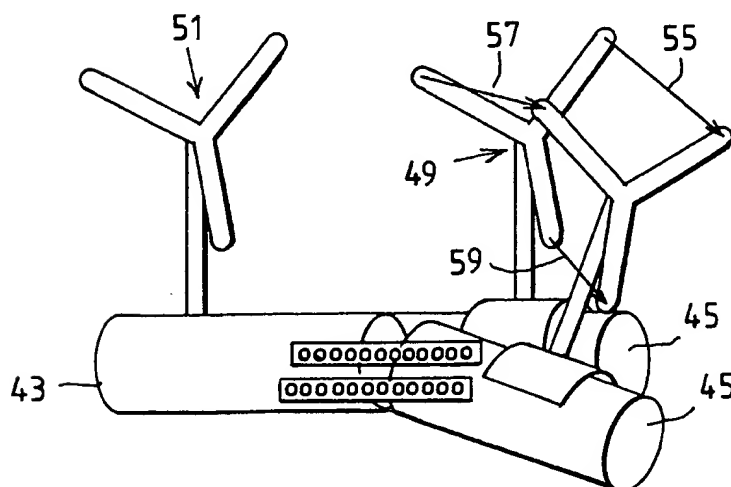


FIG. 3c

3/3
FIG. 3d

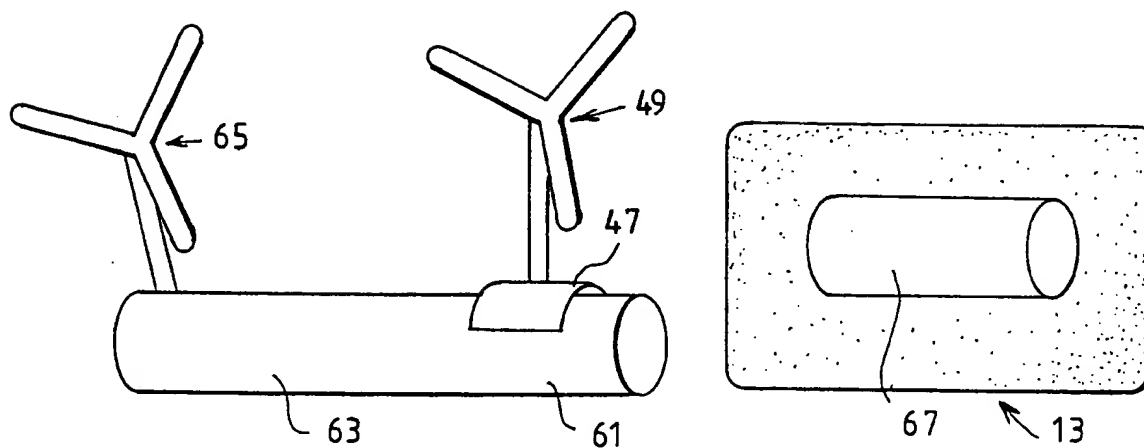


FIG. 3e

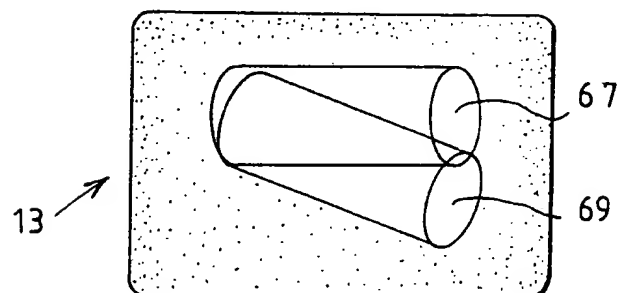
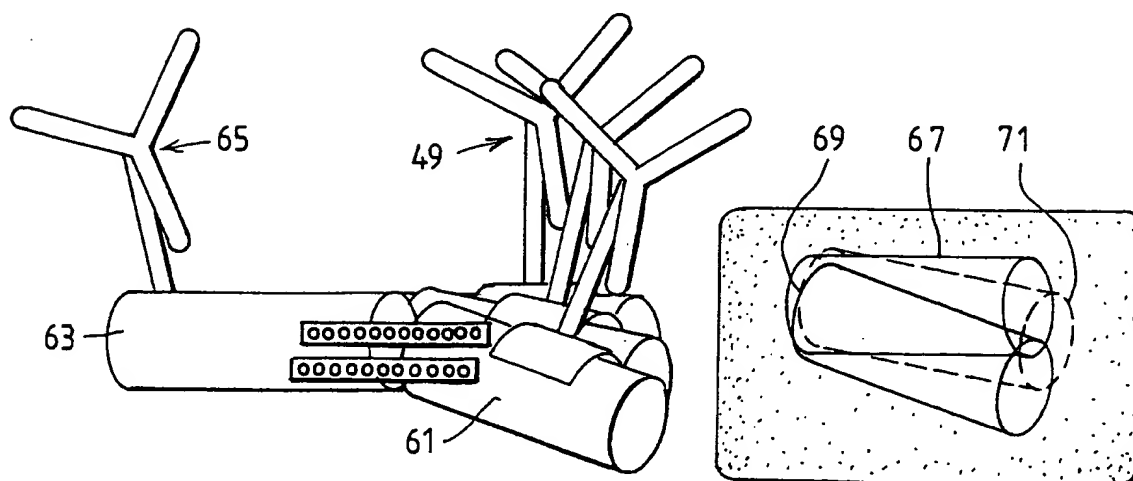


FIG. 3f



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In tional Application No

PCT/EP 98/06828

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 A61B17/56 A61B19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 279 309 A (R.H.TAYLOR UND Y.-Y.KIM) 18 January 1994 cited in the application see column 4, line 63 - column 5, line 6 see column 18, line 16 - column 19, line 43 see figures 5-7 ---	1-12
Y	DE 42 19 939 A (K.RADERMACHER) 23 December 1993 see abstract see column 4, line 63 - column 5, line 45 ---	1-12
A	US 5 249 581 A (M.T.HORBAL UND C.NOWACKI) 5 October 1993 see abstract; figures 3,7 see column 1, line 59 - line 68 see column 4, line 29 - line 61 ---	1,4,6-8, 10
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

*** Special categories of cited documents:**

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 February 1999

Date of mailing of the international search report

18/02/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Nice, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 98/06828

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 5 143 086 A (F.DURET UND J.-L.BLOUIN) 1 September 1992 see abstract; figure 2 see column 4, line 22 - line 36 -----</p>	<p>1,3,5,6, 8</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/06828

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5279309 A	18-01-1994	US 5445166 A US 5695500 A US 5402801 A US 5630431 A	29-08-1995 09-12-1997 04-04-1995 20-05-1997
DE 4219939 A	23-12-1993	WO 9325157 A EP 0645984 A	23-12-1993 05-04-1995
US 5249581 A	05-10-1993	NONE	
US 5143086 A	01-09-1992	FR 2639212 A AU 4637689 A CA 2003263 A,C EP 0369908 A WO 9005484 A JP 3502770 T	25-05-1990 12-06-1990 18-05-1990 23-05-1990 31-05-1990 27-06-1991

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06828

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 A61B17/56 A61B19/00

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 A61B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 279 309 A (R.H.TAYLOR UND Y.-Y.KIM) 18. Januar 1994 in der Anmeldung erwähnt siehe Spalte 4, Zeile 63 - Spalte 5, Zeile 6 siehe Spalte 18, Zeile 16 - Spalte 19, Zeile 43 siehe Abbildungen 5-7 ---	1-12
Y	DE 42 19 939 A (K.RADERMACHER) 23. Dezember 1993 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 4, Zeile 63 - Spalte 5, Zeile 45 --- -/--	1-12

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Februar 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/02/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Nice, P

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 249 581 A (M.T.HORBAL UND C.NOWACKI) 5. Oktober 1993 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 3,7 siehe Spalte 1, Zeile 59 - Zeile 68 siehe Spalte 4, Zeile 29 - Zeile 61 ---	1,4,6-8, 10
A	US 5 143 086 A (F.DURET UND J.-L.BLOUIN) 1. September 1992 siehe Zusammenfassung; Abbildung 2 siehe Spalte 4, Zeile 22 - Zeile 36 -----	1,3,5,6, 8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06828

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5279309 A	18-01-1994	US 5445166 A	29-08-1995
		US 5695500 A	09-12-1997
		US 5402801 A	04-04-1995
		US 5630431 A	20-05-1997
DE 4219939 A	23-12-1993	WO 9325157 A	23-12-1993
		EP 0645984 A	05-04-1995
US 5249581 A	05-10-1993	KEINE	
US 5143086 A	01-09-1992	FR 2639212 A	25-05-1990
		AU 4637689 A	12-06-1990
		CA 2003263 A,C	18-05-1990
		EP 0369908 A	23-05-1990
		WO 9005484 A	31-05-1990
		JP 3502770 T	27-06-1991